

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平 10 - 1 2 5 9 9 9

(43) 公開日 平成 10 年 (1998) 5 月 15 日

(51) Int. Cl.  
H01S 3/18

識別記号 庁内整理番号

F I  
H01S 3/18

技術表示箇所

審査請求 有 請求項の数 20 (全 14 頁)

(21) 出願番号 特願平 9 - 2 2 5 9 5 9

(22) 出願日 平成 9 年 (1997) 8 月 22 日

(31) 優先権主張番号 特願平 8 - 2 3 1 5 6 4

(32) 優先日 平 8 (1996) 9 月 2 日

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000005821

松下電器産業株式会社

大阪府門真市大字門真 1006 番地

(72) 発明者 小林 康宏

大阪府門真市大字門真 1006 番地 松下  
電器産業株式会社内

(74) 代理人 弁理士 前田 弘 (外 2 名)

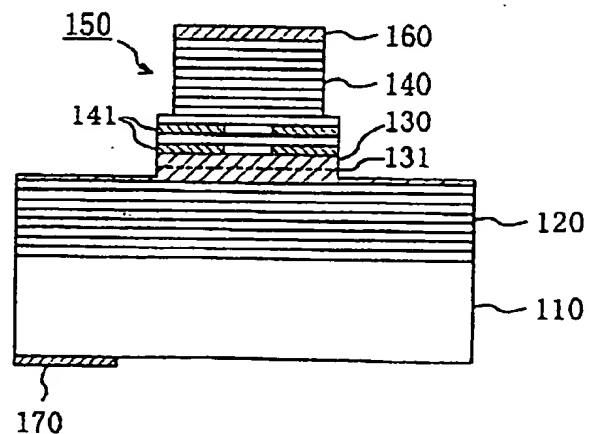
(54) 【発明の名称】 面発光半導体レーザおよびその製造方法

(57) 【要約】

【課題】 抵抗の低いミラーを用いながら低いしきい値電流での動作を可能とし、しかも高い光出力を達成する面発光半導体レーザとその製造方法を提供する。

【解決手段】 面発光半導体レーザ 100 の上部ミラー 140 は、24.5 対の n 型 AlAs 層 (第 1 層) と n 型 GaAs 層 (第 2 層) を、n 型中間層を間に挟みながら積層した構造を有しており、分布反射器 (DBR) として機能する。上部ミラー 140 はメサ 150 に加工されている。メサ 150 は 2 段のメサ部分おらなり、上部メサ部分に含まれる p 型 AlAs 層の周辺部は酸化されていないが、下部メサ部分に含まれる p 型 AlAs 層の周辺部は選択的に酸化されている。そのため、下部メサ部分に含まれる各 p 型 AlAs 層は、周辺を選択酸化領域 141 と、選択酸化領域 141 に囲まれたコア状の半導体領域に分かれている。駆動電流は、絶縁性の選択酸化領域 141 によって狭窄される結果、コア半導体領域内を縦方向に流れる。

100



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 発光層を含む活性領域と、前記活性領域を挟む二つのミラーとを具備する面発光半導体レーザであって、

前記二つのミラーの少なくとも一方は、アルミニウムを含む複数の第 1 層、および複数の第 2 層を含む分布ブラッグリフレクタ (DBR) 構造を有しており、

前記 DBR 構造に含まれる前記複数の第 1 層のうち一部の選択された層のみが、アルミニウムを含む選択酸化領域と、前記選択酸化領域に囲まれたコア半導体領域とを有している面発光半導体レーザ。

【請求項 2】 請求項 1 記載の面発光半導体レーザであって、

前記コア半導体領域はアルミニウムを含む半導体から形成されており、前記第 2 層は前記アルミニウムを含む半導体に格子整合する半導体から形成されていることを特徴とする面発光半導体レーザ。

【請求項 3】 請求項 2 記載の面発光半導体レーザであって、

前記複数の第 1 層のうち前記選択酸化領域を有する層は、この層を含む DBR 構造内において、前記複数の第 1 層のうち前記選択酸化領域を有していない層よりも前記活性領域に近い位置に配置されていることを特徴とする面発光半導体レーザ。

【請求項 4】 請求項 3 記載の面発光半導体レーザであって、

前記 DBR 構造は、少なくとも一部にメサを含んでいることを特徴とする面発光半導体レーザ。

【請求項 5】 請求項 4 記載の面発光半導体レーザであって、

前記 DBR 構造の前記メサは、外径寸法の異なる二つのメサ部分を含んでおり、

前記選択酸化領域は、前記二つのメサ部分のうち前記活性層に近い側のメサ部分に形成されていることを特徴とする面発光半導体レーザ。

【請求項 6】 請求項 4 記載の面発光半導体レーザであって、

前記 DBR 構造の前記メサは、少なくともその一部にテーパ部分を含んでおり、前記テーパ部分は傾斜した側壁を有していることを特徴とする面発光半導体レーザ。

【請求項 7】 請求項 6 記載の面発光半導体レーザであって、

前記メサの前記傾斜した側壁の少なくとも一部は、電極で覆われていることを特徴とする面発光半導体レーザ。

【請求項 8】 請求項 7 記載の面発光半導体レーザであって、

前記複数の第 1 層のうち、端面が前記電極に覆われているものは前記選択酸化領域を実質的に有していないことを特徴とする面発光半導体レーザ。

【請求項 9】 請求項 1 記載の面発光半導体レーザであ

って、

前記 DBR 構造の前記第 1 層と前記第 2 層との間には中間層が介在していることを特徴とする面発光半導体レーザ。

【請求項 10】 請求項 1 記載の面発光半導体レーザであって、

前記二つのミラーのそれぞれが、前記 DBR 構造を有しており、

いずれの前記 DBR 構造も前記選択酸化領域と前記コア半導体領域とを有していることを特徴とする面発光半導体レーザ。

【請求項 11】 請求項 1 記載の面発光半導体レーザであって、

前記二つのミラーの一方は、誘電体多層膜から形成されていることを特徴とする面発光半導体レーザ。

【請求項 12】 請求項 2 記載の面発光半導体レーザであって、

前記コア半導体領域は AlAs から形成されており、前記第 2 層は GaAs から形成されていることを特徴とする面発光半導体レーザ。

【請求項 13】 発光層を含む活性領域と、前記活性領域を挟む二つのミラーとを具備する面発光半導体レーザであって、

前記二つのミラーの少なくとも一方は、アルミニウムを含む複数の第 1 層、および複数の第 2 層を含む分布ブラッグリフレクタ (DBR) 構造を有しており、

前記 DBR 構造に含まれる前記複数の第 1 層のうち一部の選択された層のみが、表面パッシベーション領域と、前記表面パッシベーション領域に囲まれたコア半導体領域とを有している面発光半導体レーザ。

【請求項 14】 請求項 13 記載の面発光半導体レーザであって、

前記表面パッシベーション領域は選択酸化工程によって形成されていることを特徴とする面発光半導体レーザ。

【請求項 15】 一つの基板に複数の垂直共振器が配列された面発光半導体レーザであって、

前記複数の垂直共振器に共有される単一の第 1 ミラーと、前記複数の垂直共振器のそれぞれに対応した複数の第 2 ミラーと、前記複数の第 2 ミラーと前記第 1 ミラーに挟まれた複数の活性領域とを備えており、

前記第 1 ミラーおよび第 2 ミラーのうちの少なくとも一方は、アルミニウムを含む複数の第 1 層、および複数の第 2 層を含む分布ブラッグリフレクタ (DBR) 構造を有しており、

前記 DBR 構造に含まれる前記複数の第 1 層のうち一部の選択された層のみが、アルミニウムを含む選択酸化領域と、前記選択酸化領域に囲まれたコア半導体領域とを有している面発光半導体レーザ。

【請求項 16】 発光層を含む活性領域と、前記活性領域を挟む二つのミラーとを備えた面発光半導体レーザの

製造方法であって、

アルミニウムを含む複数の第 1 層、および複数の第 2 層を含む多層膜を形成する工程と、

第 1 回メサエッチングによって前記多層膜を部分的にエッチングし、それによって前記多層膜から上部メサ部分を形成し、前記上部メサ部分の側壁を露出させる工程と、

前記上部メサ部分の前記側壁を保護膜で覆う工程と、

第 2 回メサエッチングによって前記多層膜をさらに深くエッチングし、それによって下部メサ部分を形成し、前記下部メサ部分の側壁を露出させる工程と、

前記下部メサ部分の前記側壁から、前記下部メサ部分に含まれる前記第 1 層を選択的に酸化する工程と、を包含する面発光半導体レーザの製造方法、

【請求項 17】 請求項 16 記載の製造方法であって、前記第 1 回メサエッチングは、前記上部メサ部分の前記側壁を傾斜させるように行うことを特徴とする面発光半導体レーザの製造方法、

【請求項 18】 請求項 17 記載の製造方法であって、前記保護膜は導電性材料から形成され、電極の一部を構成することを特徴とする面発光半導体レーザの製造方法、

【請求項 19】 請求項 16 記載の製造方法であって、前記酸化工程が  $H_2O_2$  を用いて行うことを特徴とする面発光半導体レーザの製造方法、

【請求項 20】 請求項 16 記載の製造方法であって、前記酸化工程は、塩化鉄を加えた  $H_2O_2$  を用いて行うことを特徴とする面発光半導体レーザの製造方法、

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、面発光半導体レーザおよびその製造方法に関し、特に選択酸化プロセスを用いて製造される垂直共振器型の面発光半導体レーザ (Vertical-Cavity Surface-Emitting laser: VCSEL) およびその製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】 垂直共振器型の面発光半導体レーザ (以下、簡単に「VCSEL」と称することがある) によれば、断面が円形をした光ビームを得ることができるだけでなく、複数の発光部分を二次元的に単一基板上に高密度に集積化することもできる。また面発光レーザは低い消費電力で動作し、低コストで製造することができる。このような特徴のため、VCSEL は次世代の光通信および光情報処理のための光源として注目され、これまでに様々な研究・開発が行われている。

【0003】 最近、GaAs 系 VCSEL のミラーを構成している半導体層 (たとえば AlGaAs 層) を選択的に酸化することによって、VCSEL の性能を向上させる研究が盛んに行われている。この選択酸化プロセスを用いた VCSEL の一例が、エレクトロニクス・レタ

ーズ、第 31 巻 (1995)、第 560 頁から第 562 頁 (Electronics Letters, 31 (1995), P. 560-562) に記載されている。

【0004】 図 9 は、上記文献に開示されている VCSEL の構造を模式的に示す断面図である。図 9 の VCSEL 900 は、n 型 GaAs 基板 910 上に配置された垂直共振器を備えており、この共振器は、n-DBR 920、InGaAs/GaAs 量子井戸 930 および p-DBR (Distributed Bragg Reflector) 940 を基板側からこの順序で備えている。p 型 DBR および n 型 DBR のいずれも、GaAs 層 941 および AlAs/Al<sub>0.3</sub>O<sub>3</sub> 層 942 が交互に堆積された多層構造を有しており、この多層構造は基板 910 に至るまでメサ状にエッチングされている。AlAs/Al<sub>0.3</sub>O<sub>3</sub> 層 942 は、メサ中央部に位置する AlAs 領域と、それを取り囲む Al<sub>0.3</sub>O<sub>3</sub> 領域とから形成されている。Al<sub>0.3</sub>O<sub>3</sub> 領域は、メサエッチング工程の後にメサ側壁から横方向に AlAs 層を部分的に酸化することによって得られる。メサ全体はポリイミド 950 で保護されている。出力光 960 は基板 910 の裏面より取り出される。

【0005】 次に、VCSEL 900 の動作を説明する。

【0006】 Al<sub>0.3</sub>O<sub>3</sub> 領域 (図 9 中で斜線でハッチングされている部分) は絶縁体であるため、電流はメサ中央部 (白い部分) の狭い AlAs 領域を流れる。このため、電流閉じ込め効果が高められる。AlAs/Al<sub>0.3</sub>O<sub>3</sub> 層 942 において、AlAs 領域の屈折率は Al<sub>0.3</sub>O<sub>3</sub> 領域の屈折率とは異なるため、屈折率波導構造が形成され、光の横方向閉じ込めを実現する。これらの電流および光の閉じ込め効果によって、しきい値電流の大幅な低減が期待される。

【0007】 メサ側壁にはメサエッチングによる薄いダメージ層が形成されており、このダメージ層には非発光再結合中心が存在する。このためメサ側壁近傍を流れる電流は発光に寄与しない無効電流となる。メサ中央部にしか電流が流れないこの構造は無効電流をほとんどゼロにすることができるので、しきい値電流のさらなる低減を期待できる。VCSEL 900 は、しきい値電流 70  $\mu$ A (マイクロアンペア) という世界最小の値を実現している。

【0008】 他の従来例がアブライド・フィジックス・レター、第 66 巻 (1995)、第 3413 頁から第 3415 頁 (Applied Physics Letter, 66 (1995), P. 3413-3415) に記載されている。図 10 は、上記文献に開示されている VCSEL 1000 の構造を模式的に示す断面図である。

【0009】 VCSEL 1000 は、n-DBR 1010 の上に、活性層 1020 および p-DBR 1030 が積層された構造を備えている。この積層構造を n-DBR 1010 までエッチングすることによりメサが形成されている。また、p-DBR 1030 の上にはリング状の p 側電極 1040 が形成されている。p-DBR は A

AlGaAsとGaAsとを交互に積層した多層構造を有している。多層構造の最下層に位置する1層のAlGaAs層のみがAl組成=0.98のAl<sub>0.98</sub>Ga<sub>0.02</sub>As層1032から形成され、その他の層はAl組成=0.9のAl<sub>0.9</sub>Ga<sub>0.1</sub>As層とGaAs層から形成されている。その結果、Al<sub>0.9</sub>Ga<sub>0.1</sub>As/GaAs構造のDBR1033が上部ミラーとして機能する。

【0010】この従来例では、Al<sub>0.9</sub>Ga<sub>0.1</sub>AsおよびAl<sub>0.9</sub>Ga<sub>0.1</sub>Asの酸化レート差(約15:1)を利用して、Al<sub>0.9</sub>Ga<sub>0.1</sub>As層1032のみを選択的に酸化し、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>領域1031を形成している。

【0011】VCSEL1000の動作原理は基本的に図9のVCSEL900の場合と同じであり、低いしきい値電流のVCSELが実現される。

【0012】

【発明が解決しようとする課題】第1の従来技術によれば、数μWオーダーの光出力しか得られていない。また、第2の従来技術では、1層だけを酸化するために、Al組成の異なる2種類のAlGaAs層を用いたハイブリッドなミラー構成を採用している。より詳細には、選択酸化される一つの層には、酸化されやすいAlGaAs層(Al組成が大きい)を用い、他の酸化しないAlGaAs層のAl組成は小さくしている。このような構成によれば、ミラーの大部分にGaAs層の屈折率に近い屈折率を示すAlGaAs層(Al組成が小さい)を用いなければならない。ミラーを構成するGaAs層とAlGaAs層との間の屈折率差が小さい場合、十分な反射率を達成するためには、大きなAl組成のAlGaAs層を用いる場合よりもミラーの層数を多くしなければならない。これは製造コストを上昇させるだけでなく、ミラー抵抗を増加させるという問題を引き起こす。

【0013】本発明は斯かる諸点に鑑みてなされたものであり、その主な目的は、抵抗の低いミラーを用いながら低いしきい値電流での動作を可能とし、しかも高い光出力を達成する面発光半導体レーザとその製造方法を提供することにある。

【0014】

【課題を解決するための手段】上記の目的を達成するために、本発明では、ミラーを構成する複数の第1層にアルミニウムを含む層を用い、また、そのミラーを構成する複数の第2層に第1層とは屈折率と酸化レートの異なる層を用い、複数の第1層のうち選択された一部の層のみを酸化することによって、電流狭窄のための選択酸化領域を部分的に配置している。

【0015】具体的には、本発明の第1の面発光半導体レーザは、発光層を含む活性領域と、前記活性領域を挟む二つのミラーとを具備する面発光半導体レーザであって、前記二つのミラーの少なくとも一方は、アルミニウムを含む複数の第1層および複数の第2層を含む分布ブ

ラッグリフレクタ(DBR)構造を有しており、前記DBR構造に含まれる前記複数の第1層のうち一部の選択された層のみが、アルミニウムを含む選択酸化領域と、前記選択酸化領域に囲まれたコア半導体領域とを有している。

【0016】これにより、DBR構造に含まれる一部の層のみが、電流を阻止する選択酸化領域を含むこととなるため、DBR構造全体の電気抵抗増加を抑制しながら、電流をコア半導体領域で規定される狭い空間に効率的に狭窄することができる。その結果、活性領域注の発光層のうち狭い領域に電流が注入され、低いしきい値電流でレーザ発振が達成される。DBR構造は、複数の第1層、および、複数の第2層を含み、それらの層の屈折率の違いから反射器として機能する。

【0017】ある実施形態では、前記コア半導体領域はアルミニウムを含む半導体から形成されており、前記第2層は前記アルミニウムを含む半導体に格子整合する半導体から形成される構成とすることができる。これにより、DBR構造の電流が通過する範囲内では至りなく半導体が積層していることとなる。

【0018】前記複数の第1層のうち前記選択酸化領域を有する層は、この層を含むDBR構造内において、前記複数の第1層のうち前記選択酸化領域を有していない層よりも前記活性領域に近い位置に配置されていることが好ましい。これにより、活性領域に近い位置に電流狭窄のための構造が配置されることとなるため、効率的な電流狭窄が達成される。また、コア半導体領域と選択酸化領域との間にある横方向屈折率差に起因して、発光層で生じた光がコア半導体領域に規定される範囲内に閉じこめられる。

【0019】前記DBR構造は、少なくとも一部にメサを含んでいる構成とすることができる。これにより、メサにより電流密度が高められ、より低いしきい値でのレーザ発振が実現する。また、メサの外周部から選択酸化領域を形成することができ、狭いコア半導体領域を簡単に設けることができる。

【0020】前記DBR構造の前記メサは、外径寸法の異なる二つのメサ部分を含んでおり、前記選択酸化領域は、前記二つのメサ部分のうち前記活性層に近い側のメサ部分に形成されている構成とすることができる。これにより、メサの電気抵抗増加を抑制しながら、電流狭窄の実効をあげることができる。

【0021】前記DBR構造の前記メサは、少なくともその一部にテーパ部分を含んでおり、前記テーパ部分は傾斜した側壁を有している構成とすることができる。これにより、DBR構造のテーパ部分を保護膜で覆うことが容易になる。そのため、製造に際して、DBR構造のテーパ部分中の第1層は酸化することなく、それ以外の部分に含まれる第1層を選択的に酸化することが容易となる。その結果、製造コストが低減される。

【0022】前記メサの前記傾斜した側壁の少なくとも一部は、電極で覆われている構成とすることができる。これにより、電極とメサとの接触抵抗が減少し、より一層ミラー部分の垂直抵抗が低減される。

【0023】前記複数の第1層のうち、端面が前記電極に覆われているものは前記選択酸化領域を実質的に有していない構成とすることができる。これにより、電極は、製造工程において選択酸化工程の際の保護膜として機能し得ることとなる。

【0024】前記DBR構造の前記第1層と前記第2層との間には中間層が介在している構成とすることができる。これにより、DBR構造を構成する層の間に歪みなどが生じないようにすることが可能となり、その結晶性が向上する。

【0025】前記二つのミラーのそれぞれが前記DBR構造を有し、いずれの前記DBR構造も前記選択酸化領域と前記コア半導体領域とを有している構成とすることができる。これにより、二つのミラーの双方に電流狭窄のための選択酸化領域が配置されることとなる。そのため、発光層の狭い範囲に電流を効率的に注入することが

【0026】前記二つのミラーの一方は、誘電体多層膜から形成されている構成とすることができる。

【0027】前記コア半導体領域はAlAsから形成されており、前記第2層はGaAsから形成されている構成とすることができる。これにより、選択酸化領域を容易に形成できる。AlAsはGaAsに比較して著しく酸化されやすいからである。また、AlAsとGaAsとの間の屈折率差が大きく、少ない層数でミラーの高い反射率を得ることができる。

【0028】本発明による他の面発光半導体レーザは、発光層を含む活性領域と、前記活性領域を挟む二つのミラーとを具備する面発光半導体レーザであって、前記二つのミラーの少なくとも一方は、アルミニウムを含む複数の第1層および複数の第2層を含む分布ブラッグリフレクタ(DBR)構造を有しており、前記DBR構造に含まれる前記複数の第1層のうち一部の選択された層のみが、表面パッシベート領域と、前記表面パッシベート領域に囲まれたコア半導体領域とを有している。これにより、ミラー抵抗を全く増加させることなく、無効電流を低減できる。DBR構造の側面は、製造時に受ける損傷によって無効電流を発生させる非発光再結合中心等の結晶欠陥を多数含んでいるが、それらが表面パッシベート領域に置き代わることで、無効電流の原因が減少するからである。

【0029】前記表面パッシベート領域は選択酸化工程によって形成されている構成とすることができる。これにより、容易にパッシベート領域を形成できることとなる。選択酸化工程によれば、欠陥を含む第1および第2層の表面を簡単にパッシベートできるからである。

【0030】本発明の更に他の面発光半導体レーザは、一つの基板に複数の垂直共振器が配列された面発光半導体レーザであって、前記複数の垂直共振器に共有される単一の第1ミラーと、前記複数の垂直共振器のそれぞれに対応した複数の第2ミラーと、前記複数の第2ミラーと前記第1ミラーに挟まれた複数の活性領域とを備えており、前記第1ミラーおよび第2ミラーのうちの少なくとも一方は、アルミニウムを含む複数の第1層および複数の第2層を含む分布ブラッグリフレクタ(DBR)構造を有しており、前記DBR構造に含まれる前記複数の第1層のうち一部の選択された層のみが、アルミニウムを含む選択酸化領域と、前記選択酸化領域に囲まれたコア半導体領域とを有している。これにより、面発光レーザのアレイが得られる。アレイを構成する各DBR構造について電流狭窄のための構成が設けられているため、しきい値電流が低減され、その結果、全体の消費電力が低くなる。

【0031】本発明の面発光半導体レーザの製造方法は、発光層を含む活性領域と、前記活性領域を挟む二つのミラーとを備えた面発光半導体レーザの製造方法であって、アルミニウムを含む複数の第1層、および複数の第2層を含む多層膜を形成する工程と、第1回メサエッチングによって前記多層膜を部分的にエッチングし、それによって前記多層膜から上部メサ部分を形成し、前記上部メサ部分の側壁を露出させる工程と、前記上部メサ部分の前記側壁を保護膜で覆う工程と、第2回メサエッチングによって前記多層膜をさらに深くエッチングし、それによって下部メサ部分を形成し、前記下部メサ部分の側壁を露出させる工程と、前記下部メサ部分の前記側壁から、前記下部メサ部分に含まれる前記第1層を選択的に酸化する工程と、を包含している。これにより、複数の第1層および複数の第2層を含む多層膜のうち一部だけを保護膜で覆うこととなるため、保護膜で覆われていない部分(下部メサ部分)中に位置する第1層のみを的確に酸化し、選択酸化領域を容易に形成することが可能となる。

【0032】前記第1回メサエッチングは、前記上部メサ部分の前記側壁を傾斜させるように行われる構成とすることができる。これにより、傾斜した上部メサ部分の側壁上に保護膜の堆積を行うことが簡単になる。

【0033】前記保護膜は導電性材料から形成され、前記保護膜は電極の一部を構成するようにしてもよい。これにより、保護膜を除去する必要がなくなり、製造工程が簡略化される。

【0034】前記酸化工程は、 $H_2O_2$ を用いて行われるようにしてもよい。これにより、選択酸化領域の形成が簡略化され、製造コストも低減される。

【0035】前記酸化工程は、塩化鉄を加えた $H_2O_2$ を用いて行われるようにしてもよい。これにより、塩化鉄の作用を利用して酸化速度を向上させることができる。

【0036】

【発明の実施の形態】以下に、添付図面を参照しながら本発明の実施形態を説明する。

【0037】（第1の実施形態）図1は、本発明の第1の実施形態による面発光半導体レーザ（VCSEL）100を模式的に示す断面図である。図1のVCSEL100は、p型GaAs基板110上に形成されている。VCSEL100は、p型下部ミラー120、活性領域130およびn型上部ミラー140を含むレーザ発振のための積層構造を有している。下部ミラー120は基板110の上に形成されており、活性領域130は下部ミラー120と上部ミラー140との間に挟まれている。以下に、上記積層構造の構成を詳しく説明する。

【0038】下部ミラー120は、24、5対のp型AlAs層（第1層に対応）とp型GaAs層（第2層に対応）を、p型中間層を間に挟みながら積層した構造を有しており、下側の分布反射器（Distributed Bragg Reflector: DBR）として機能する。同様に、上部ミラー140は、24、5対のn型AlAs層（第1層に対応）とn型GaAs層（第2層に対応）を、n型中間層を間に挟みながら積層した構造を有しており、上側の分布反射器（DBR）として機能する。

【0039】いずれのミラーも、図10の従来技術が採用しているハイブリッド構成ではなく、単一構成を有している。なお、本願明細書では、「単一構成」という文言を、図10の従来技術に用いられているような「ハイブリッド構成」とは異なる構造の意味で使用する。

【0040】活性領域130は、ウェル層として機能するIn<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>As層とバリア層として機能するGaAs層とを含む量子井戸を持つ活性層（発光層）131と、この活性層131を挟み込むAl<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Asクラッド層とを有している。活性領域130は、波長が約980nmの光を発振するように設計されている。

【0041】VCSEL100はメサ150を有している。このメサ150は、2段のメサ部分を含んでおり、上部のメサ部分よりも下部のメサ部分のほうが大きな外径寸法を有している。より詳細には、本実施形態における上部メサ部分の外径は、約10μmであり、下部メサ部分の外径は約11μmである。このような二段構造を持つメサ150は、後述するように、2ステップのメサエッチング工程により形成される。上部メサ部分は、上部ミラー140の大部分を含んでいる。一方、下部メサ部分は、上部ミラー140の一部（底部）と、上部クラッド層と、活性層131と、下部クラッド層の一部とを含んでいる。第2回メサエッチングは、下部ミラー120の上面を完全に露出させる前に停止されているため、図1からわかるように、下部ミラー120の上面は下部クラッド層によって覆われている。

【0042】上部メサ部分に含まれるp型AlAs層の周辺部は酸化されていないが、下部メサ部分に含まれる

p型AlAs層の周辺部は選択的に酸化されている。その結果、下部メサ部分に含まれる各p型AlAs層は、周辺の選択酸化領域141と、選択酸化領域141に囲まれたコア状の半導体領域に分かれている。選択酸化領域141は電流アパーチャとして機能する。レーザ発振のための駆動電流は、絶縁性の選択酸化領域141によって狭窄される結果、コア半導体領域内を縦方向に流れる。コア半導体領域のサイズ（直径）は、横方向酸化の進行に応じて縮小する。この点に関して、詳細は後述する。

【0043】本実施形態によれば、メサ150を形成するためのエッチングは、活性層131と下部ミラー120の間に位置する下方クラッド層を部分的にエッチングする時点で停止されている。その結果、上部クラッド層と活性層131は、下部メサ部分に含まれているが、下部ミラー120はメサエッチングを全く受けて、メサ形状を有していない。このため、選択酸化工程によって下部ミラー120内のAlAs層は酸化されず、電流と光を狭窄するための選択酸化領域141は、活性層131の上側にのみ形成されている。

【0044】VCSEL110はさらに、上部ミラー140の上面に形成されたn側電極160と、p型基板110の裏面に形成されたp側電極170を有しており、これらの電極160および170によって活性領域130に電流が供給される。垂直共振器内で生じたレーザ光は、基板110の裏面から取り出される。

【0045】次に、図2(a)～(d)を参照しながら、VCSEL100の製造プロセスを説明する。なお、図2(a)～(d)の中では、図1で示したものと同一構成要素に同じ参照符号を付しており、その説明を省略する。

【0046】まず、図2(a)に示すように、半導体基板110上に、下部ミラー120、活性領域130および上部ミラー140のための複数の半導体層を、MBE法（分子線エピタキシー法）やMOCVD法（有機金属気相成長法）などによってエピタキシャル成長する。こうして得られたVCSELウェハに、n側電極160およびp側電極170を形成する。n側電極160は、上部メサ部分の位置および形状を規定するためのフォトリソを用いてパターンニングされる。n側電極160は、たとえばAu/AuGe/Ni（Auの厚さ100nm：AuGeの厚さ150nm：Niの厚さ5nm）から形成され、p側電極170は、たとえばCr/Au（Crの厚さ50nm：Auの厚さ150nm）から形成される。

【0047】次に、Cl<sub>2</sub>を用いたRIE法を用いて第1回メサエッチングを行う。エッチング条件は次の通りである。Cl<sub>2</sub>:Ar:CF<sub>4</sub>=1:10:3、パワー:500W、エッチング時間:50分。

【0048】n側電極160は、このエッチングに対す

るマスクとして機能する。このエッチングは、図2 (a)に示すように、上部ミラー140の途中のレベルでストップするように制御される。その結果、第1回メサエッチングは、上部ミラー140のうち、もっとも活性層131の近くに位置する2層のn型AlAs層をエッチングしないで残す。

【0049】次に、第1回メサエッチングで形成された上部メサ部分の上面および側壁を図2 (b)に示すようにSiO<sub>2</sub>保護膜で覆う。このSiO<sub>2</sub>保護膜は、たとえばプラズマCVD法を用いて厚さ500nmのSiO<sub>2</sub>膜を基板の全面を覆うように堆積した後、SiO<sub>2</sub>膜のうち第1回メサエッチングにより露出した上部ミラー内の面(基板表面に平行な面)に接触する部分を選択的に除去することによって得られる。このような選択的な除去を行うには、SiO<sub>2</sub>保護膜の位置と形状を規定するためのフォトマスクが必要になる。このフォトマスクは、n側電極160のパターニングに用いたフォトマスクとはパターンサイズにおいて異なる。なお、スパッタリング法などの物理的蒸着法によってSiO<sub>2</sub>保護膜を堆積する場合は、上部メサ部分にテーパーを設け、上部メサ部分の側壁を傾斜させることが必要になる。SiO<sub>2</sub>保護膜の代わりにSiN保護膜を用いてもよい。

【0050】次に、Cl<sub>2</sub>を用いたRIBE法を用いて第2回メサエッチングを行う。エッチング条件は次の通りである。Cl<sub>2</sub>:H<sub>2</sub>=1:1、パワー:200W、加速電圧:500ボルト、エッチング時間:50分。SiO<sub>2</sub>保護膜はこのエッチングに対するマスクとして機能する。このエッチングは、活性領域130の直下まで進行するように制御される。

【0051】続いて、図2 (c)に示すように、第2回メサエッチングによって露出した下部メサ部分の側壁から、下部メサ部分の内部へ酸化種を横方向に供給する。こうして、下部メサ部分に含まれるAlAs層の周辺部のみを選択的に酸化し、選択酸化領域141を形成する。アルミニウムを含むAlAsは、アルミニウムを含まないGaAsに比較して酸化速度が著しく大きく、その結果、選択酸化はAlAsに対して生じる。酸化種は、SiO<sub>2</sub>保護膜を速やかに拡散できないため、側面がSiO<sub>2</sub>保護膜によって覆われている上部メサ部分は酸化されない。このように、SiO<sub>2</sub>保護膜は酸化防止膜または酸化マスクとしても機能する。

【0052】最後に、図2 (d)に示すように、CF<sub>4</sub>を用いたRIBE法でSiO<sub>2</sub>保護膜を除去し、図1に示す構造を得る。

【0053】上述のように、図2 (c)のSiO<sub>2</sub>保護膜は、上記選択酸化工程において上部メサ部分に含まれるAlAs層の選択酸化を阻止するように機能する。このSiO<sub>2</sub>保護膜が十分に厚いと、SiO<sub>2</sub>保護膜は強力な酸化防止膜として機能するため、上部メサ部分に選択酸化領域は形成されない。しかし、SiO<sub>2</sub>保護膜の厚

さが比較的に薄いと、上部メサ部分にも選択酸化領域がわずかに形成されるかもしれない。たとえ上部メサ部分に比較的に小さな選択酸化領域が形成されたとしても、それによって生じる電流狭窄の影響が小さければ、ミラー抵抗の増加は相当に緩和される。従って、SiO<sub>2</sub>保護膜が上部メサ部分の選択酸化を完全に阻止しない場合でも、光出力の向上をある程度は期待することができる。本実施形態の場合、SiO<sub>2</sub>保護膜の好ましい厚さの範囲は、約300nmから約500nmである。

【0054】図3は、上記選択酸化のために用いた酸化装置の概略構成図である。図3に示すように、約80℃のH<sub>2</sub>OでN<sub>2</sub>をバブリングし、それによってH<sub>2</sub>Oを含んだN<sub>2</sub>を約380℃に加熱した炉の中に導入する。N<sub>2</sub>の代わりに、Arなどの他の不活性ガスを用いてもよい。この炉の中にVCSELを入れ、VCSELの表面の一部を酸化させる。選択酸化領域のサイズ(メサ側壁表面からメサ中心方向へ計測した横方向のサイズ)は、酸化時間を制御することによって調整される。

【0055】図4は、酸化時間とVCSELの光出力・電流特性との関係を示すグラフである。測定に用いたメサは円柱形状を持ち、その直径は10ミクロンである。図4の曲線は、酸化時間が0秒(酸化せず)、2分30秒そして4分30秒の場合の特性を示している。酸化時間が0秒の場合、しきい値電流は約4mAである。それに対して、酸化時間が2分30秒の場合、しきい値電流は約3.2mA、4分30秒の場合、約1.7mAである。図4のグラフからわかるように、酸化時間が増えるほど、しきい値電流は減少する。これは、酸化時間が増えるにつれ、選択酸化領域が横方向に大きくなり、その結果、電流狭窄の程度が強くなるからである。酸化時間が4分30秒の場合、横方向のサイズ(幅)が約1~2μmの選択酸化領域が形成され、コア半導体領域の直径は約11μmから約7~9μmに減少している。このようにメサ周辺における選択酸化領域141の存在は、電流および光の閉じ込めを達成し、かつ、無効電流を低減し、その結果、しきい値電流を低減する。本実施形態では、上部ミラー部分のうち、2層のAlAs層しか酸化していないので、ミラーの抵抗はほとんど増加しない。したがってデバイス動作時の発熱による問題もほとんど生じることなく、図4にみられるように、最大光出力が発熱により制限されることはない。

【0056】一方、酸化時間が2分30秒の場合、選択酸化領域はほとんど形成されていない。この場合に形成される選択酸化領域の横方向サイズは、0.1μm以下と考えられる。したがって、選択酸化領域の存在による電流および光の閉じ込め効果はほとんど期待できない。にもかかわらず、しきい値電流が十分に減少しているのは、メサ表面のダメージ層が選択酸化工程によりパッシベートされ、それによって無効電流が低減したためであると思われる。

【0057】以上のように、本実施形態の VCSEL 100 では、レーザメサ 150 を 2 段階のエッチングで形成している。そして上部メサ部分を SiO<sub>2</sub> 保護膜によって保護することで、下部メサ部分に含まれる上部ミラー 140 の AlAs 層のみを選択的に酸化し、それによって 2 層の選択酸化領域 141 を形成している。この結果、選択酸化プロセスを用いても、上部ミラー 140 の抵抗を増大させることなく、しきい値電流を低減することができる。

【0058】ミラー抵抗を小さく保つという観点からは、選択酸化領域 141 の層数は 1 であることがもっとも好ましいし、電流の横方向の閉じこめ効果は、選択酸化領域 141 が 1 層でも十分である。ただし、光の横方向の閉じこめ効果を高くするという観点から、選択酸化領域 141 は、光が活性層 131 から上下方向に広がり出る範囲内にできるだけ多く配置されることが好ましい。これらのことを勘案すると、選択酸化領域 141 の層数は好ましくは 1 から 5 までの範囲にあり、より好ましくは 1 ~ 3 までの範囲にあると考えられる。

【0059】なお、図 1 の実施形態とは別に、メサ 150 の側壁の最表層（たとえば表面から深さ 0.1 μm 以下の領域）のみを薄く酸化し、選択酸化領域が電流の横方向狭窄に実質的に寄与しない実施形態を採用してもよい。前述のように、メサ表面を酸化雰囲気中にさらすだけで、メサ 150 の側壁表面に形成されたダメージ層をパッシベートすることができる（パッシベート領域の形成）からである。これによって、非発光再結合中心による無効電流を低減できるので、ミラー抵抗を全く増加させることなく、しきい値電流を低減することができる。

【0060】（第 2 の実施形態）図 5 は、本発明の第 2 の実施形態による VCSEL 500 の構成を模式的に示す断面図である。なお、第 1 の実施形態の VCSEL 100 と同じ構成要素には同じ参照番号を付しており、ここではその説明を省略する。

【0061】レーザメサ 520 の上部（上部ミラー 140 の頂上から活性領域 130 の途中まで）はテーパー形状を有している。このテーパー部分の上面と傾斜した側面とを覆うように n 側電極 160 が形成されている。また、レーザメサ 520 は、下部ミラー 120 を 1 対だけエッチングする深さまでエッチングすることによって形成されている。メサ 520 の側壁のうち、n 側電極 160 で覆われていない部分からメサの内部に向かって横方向に 1 層の選択酸化領域 510 が延びている。

【0062】本実施形態では、図 5 に示すように、p 型下部ミラー 120 の最上の AlAs 層のみを選択的に酸化し、それによって横方向の電流狭窄を実現している。一方、第 1 の実施形態では、図 1 に示すように、n 型上部ミラーの AlAs 層を酸化して電流狭窄を行っている。これらの電流狭窄の違いによる VCSEL の特性の違いを図 6 (a) および図 6 (b) を用いて説明する。

図 6 (a) は n 型ミラー側で電流狭窄を行った場合の模式的断面図であり、第 1 の実施形態の場合に相当する。電流狭窄を行う選択酸化領域 141 と発光層である活性層 131 との間は、正確には図 6 (a) に示すようにある程度の距離（活性領域 130 の厚みの約半分）があるので、電流経路はその間に、ある程度広がることになる。したがって、実際の発光領域は、選択酸化領域 141 で狭窄された領域より大きくなる。この発光領域拡大の現象は、図 6 (b) の p 型ミラー側で電流狭窄を行った（本実施形態の）場合も同様の原理で起こる。しかしながら、電流経路の拡大が起こる活性領域 130 が n 型であるか、p 型であるかにより、発光領域の拡大の程度は異なってくる。つまり、移動度が小さいホールによる電流が支配的な p 型領域の方が電流広がりが小さいので、図 6 (a) および図 6 (b) に示すように、本実施形態の方が第 1 の実施形態の場合より、発光領域が小さくなる。このように本実施形態の VCSEL 500 では、第 1 の実施形態の VCSEL 100 よりも、より大きな電流および光の閉じ込め効果を得ることができ、さらにしきい値電流を低減することができる。

【0063】次に、図 7 (a) ~ (d) を参照しながら VCSEL 500 の製造プロセスを説明する。なお、図 5 で示したものと同一構成要素には同じ参照番号を付しており、ここではその説明を省略する。

【0064】まず、図 7 (a) に示すように、半導体基板 110 上に、下部ミラー 120、活性領域 130 および上部ミラー 140 のための複数の半導体層を、MBE 法（分子線エピタキシー法）や MOCVD 法（有機金属気相成長法）などによってエピタキシャル成長する。こうして得られた VCSEL ウェハに、n 側電極 160 の下部層および p 側電極 170 を形成する。n 側電極 160 の下部層は、上部メサ部分の位置および形状を規定するようにパターニングされる。n 側電極 160 の下部層は、リフトオフ法等を用い電極端がテーパー状になるように形成されている。n 側電極 160 の下部層は、たとえば Au/AuGe/Ni (Au の厚さ 100 nm : AuGe の厚さ 150 nm : Ni の厚さ 5 nm) から形成され、p 側電極 170 は、たとえば Cr/Au (Cr の厚さ 50 nm : Au の厚さ 150 nm) から形成される。

【0065】次に、図 7 (b) に示すように、Cl<sub>2</sub> を用いた RIE 法を用いて第 1 回メサエッチングを行う。n 側電極 160 は、このエッチングに対するマスクとして機能する。本実施形態では、このエッチングが上部ミラー 140 の最下端を越えて活性層領域 130 の内部に達するようにする。

【0066】次に、図 7 (c) に示すように、上部メサの側壁を覆うように n 側電極 160 の上部層（追加層）を形成した後、Cl<sub>2</sub> を用いた RIE 法を用いて第 2 回メサエッチングを行う。n 側電極 160 の上部層は、たとえば Ni (厚さ 400 nm) から形成される。n 側電極



160は第2回エッチングに対するマスクとして機能する。このエッチングは、下部ミラー120の上面に最も近いAlAs層までをエッチングするように制御される。

【0067】最後に、図7(d)に示すように、露出したメサ側壁表面から下部ミラー120の最上のAlAs層のみを酸化し、選択酸化領域510を形成する。

【0068】次に、本実施形態で用いる酸化方法を説明する。

【0069】この酸化は、VCSEL500を $H_2O_2$ 中でボイリングすることによって行う。これにより、第1の実施形態のVCSEL100を製造するプロセスで用いた、図3に示すような大がかりな装置を用いることなく、容易に、簡便な方法で選択酸化を実現できる。

【0070】さらに、本実施形態のVCSEL500の製造プロセスでは、n側電極160の下部層を上部メサ部分のエッチングマスクとして用いている(図7(a)参照)。n側電極160の下部層は端部にテーパ形状を持つため、エッチング中にマスクエッジが少しづつエッチングされ、横方向に後退する。言い換えると、エッチングマスク(n側電極160の下部層)の横方向サイズが縮小しながら、メサエッチングが進行する。その結果、図7(b)に示すように、上部メサ部分の形状も側壁が斜めになったテーパ状になる。テーパ角度はたとえば約80度程度になる。n側電極160の上部層が上部メサ部分の上面と側面だけを覆うようにn側電極160の上部層をパターニングするためには、フォトマスクが必要である。このフォトマスクは、n側電極160の下部層を形成するのに用いたフォトマスクと同一のものを  
30 用いればよいので、フォトマスクを余分に作成する必要はない。

【0071】以上のように、本実施形態のVCSEL500では、p型下部ミラー120に対して選択酸化を行い、p型下部ミラー120内で電流絞を行っている。この結果、n型上部ミラー140に対して選択酸化を行った場合よりも、より強い電流および光の閉じ込めを実現することができ、さらにしきい値電流を低減することができる。

【0072】また、上部メサ部分がテーパ形状を持つようにエッチングされているので、最初の実施形態の場合  
40 に比較して、フォトマスクの枚数を1枚減らすことができる。その結果、VCSELをより低コストで製造することができる。

【0073】また、 $H_2O_2$ 中でボイリングすることで選択酸化を行う結果、簡便な方法で、容易に選択酸化を持ったVCSELを実現することができる。

【0074】(第3の実施形態) 図8は、本発明の第3の実施形態によるVCSEL800の構成を模式的に示す断面図である。なお、第1の実施形態のVCSEL100と同じ構成要素には同じ参照番号を付しており、こ  
50

こではその説明を省略する。

【0075】レーザメサ820は、上部メサ部分(直径約 $10\mu m$ )と下部メサ部分(直径約 $11\mu m$ )を含んでいる。上部メサ部分は上部ミラー140の最下の1対を残す深さまで第1回メサエッチングを行うことにより形成され、下部メサ部分は下部ミラー120を1対だけエッチングする第2回メサエッチングより形成されている。

【0076】レーザメサ820の下部メサ部分は上部メサ部分よりも直径が $1\mu m$ 程度大きい。下部メサ部分に含まれている2層のAlAs層は、メサ側壁からメサ中央部に向かって部分的に酸化されており、2層の選択酸化領域810が形成されている。

【0077】本実施形態では、図8に示すように、n型上部ミラー140とp型下部ミラー120の両方のAlAs層を選択的に酸化している。その結果、活性領域130の上下で電流絞が行われ、電流経路の広がりが生じない。したがって、完全な電流および光の閉じ込めを実現することができ、第2の実施形態のVCSEL500よりも低しきい値電流が達成される。

【0078】次に、VCSEL800の製造作製プロセスを説明する。

【0079】プロセスの基本的な部分は、第1の実施形態のVCSEL100の製造プロセスのものと同一である。相違点は、2回のメサエッチングのエッチング深さの違いと、酸化方法の違いにある。エッチング深さは、第1回メサエッチングに際しては、上部ミラー140の最下の1対を残すように制御され、2回目のメサエッチングに際しては、下部ミラー120の最上の1対だけをエッチングするように制御される。これらのエッチング深さの制御は、いずれもエッチング時間を調整することにより実行される。なお、本実施形態では、活性層の両側にそれぞれ1層の選択酸化領域810を形成したが、選択酸化領域810の数はこれに限定されない。たとえば、活性領域130の上側に1層の選択酸化領域810を設け、活性領域130の下側に2層の選択酸化領域810を設けてもよい。

【0080】活性領域810を形成するための選択酸化は、 $H_2O_2$ と $FeCl_3$ (塩化鉄(III))の混合液を用いて行う。混合液は、 $100cc$ の $H_2O_2$ と $0.025g$ の $FeCl_3$ とを混合することによって作成し、約 $60^\circ C$ に加熱する。この加熱した混合液中にVCSELを浸すことによって、選択酸化を行う。酸化のメサ中心方向への深さは酸化時間を調節することによって制御する。この方法は、酸化を促進する $FeCl_3$ を使用するため、第2の実施形態のVCSEL500に用いた酸化方法よりも短時間で効果的な酸化を行うことが出来る。なお、 $FeCl_3$ の代わりに $FeCl_2$ (塩化鉄(II))を用いて酸化を行ってもよい。この酸化方法を図1および図5のVCSELの選択酸化に適用してもよい

し、逆に、第1または第2の実施形態における酸化方法を図8のVCSELの選択酸化に適用してもよい。VCSELの構造は、それを製造するための酸化方法を特に限定しない。

【0081】以上説明したように、本実施形態のVCSEL 800では、n型上部ミラー140とp型下部ミラー120の両方のAlAs層を選択的に酸化し、活性領域130の上下で電流狭窄を行っている結果、完全な電流および光の閉じ込めを行うことができ、低いしきい値電流のVCSELを実現することができる。また、 $H_2O$ による酸化作用を促進する働きのある $FeCl_3$ 、または $FeCl_3$ を $H_2O$ に加えて酸化を行っているので、より短時間で効果的な選択酸化プロセスを行うことができる。

【0082】(第4の実施形態) 図11は、本発明の第4の実施形態によるVCSEL 1100を模式的に示す断面図である。図11のVCSEL 1100は、p型GaAs基板110上に形成されている。VCSEL 1100は、下部誘電体ミラー1120、活性領域130およびn型上部ミラー140を含むレーザ発振のための積層構造を有している。下部誘電体ミラー1120は、基板110の裏面から選択エッチングにより設けられた開口部内に形成されている。活性領域130は、基板110上に形成されており、下部誘電体ミラー1120と上部ミラー140との間に挟まれている。上記積層構造の構成は、下部誘電体ミラー1120を除いて、第1の実施形態と同様の構成を有している。下部誘電体ミラー1120は、5対の $SiO_2$ 層/ $TiO_2$ 層が積層された構造を有している。

【0083】メサ150は、2段のメサ部分を含んでおり、上部のメサ部分よりも下部のメサ部分のほうが大きな外径寸法を有している。より詳細には、本実施形態における上部メサ部分の外径は、約 $8\mu m$ であり、下部メサの外径は約 $9\mu m$ である。このような二段構造を持つメサ150は、第1の実施形態について述べた製造方法により形成される。

【0084】上部メサ部分に含まれるp型AlAs層の周辺部は酸化されていないが、下部メサ部分に含まれるp型AlAs層の周辺部は選択的に酸化されている。その結果、下部メサ部分に含まれる各p型AlAs層は、周辺の選択酸化領域と、選択酸化領域に囲まれたコア状の半導体領域に分かれている。選択酸化領域は電流アパーチャとして機能する。レーザ発振のための駆動電流は、絶縁性の選択酸化領域によって狭窄される結果、コア半導体領域内を縦方向に流れる。

【0085】本実施形態では、一対のミラーのうちの一方だけが、アルミニウムを含む第1層と、第1層とは屈折率の異なる第2層とが積層されたDBR構造を備え、活性領域130に近い2層の第1層(アルミニウムを含む酸化されやすい層)だけが選択的に酸化されている。

このように、本発明では、上下ミラーの一方が他方とは異なる材料層から構成されていてもよい。

【0086】(第5の実施形態) 図12は、本発明の第5の実施形態によるVCSELアレイ1200を模式的に示す断面図である。図12のVCSELアレイ1200は、一つの基板上に複数の発光部(垂直共振器)が集積された構造を備えている。第1の実施形態のVCSEL 100と同じ構成要素には同じ参照番号を付しており、ここではその説明を省略する。

【0087】本実施形態では、下部ミラー120が複数の垂直共振器に共有されており、下部ミラー120と各上部ミラー140との間を駆動電流が流れる。その結果、各共振器内でレーザ発振が生じる。各共振器内には、第1実施形態の電流および光閉じこめ構造と同様の構造が設けられているので、低いしきい値電流が達成され、しかも高い光出力が得られる。

【0088】なお、上記すべての実施形態において、p型とn型を入れ替えても、本願発明の効果は損なわれない。また、GaAs系以外のInP系やGaN系などの材料系を用いてもよいことは言うまでもない。

【0089】以上のように、本発明によれば、上述の構成を有することによって、単一構成のミラーでありながら、選択酸化プロセスを用いてもミラーの抵抗が増加せず、低抵抗かつ低いしきい値電流の面発光半導体レーザが提供される。

【0090】

【発明の効果】以上説明したように、請求項1記載の発明によれば、DBR構造に含まれる一部の層のみが、電流を阻止する選択酸化領域を含むことになるため、DBR構造全体の電気抵抗増加を抑制しながら、電流をコア半導体領域で規定される狭い空間に効率的に狭窄することができる。その結果、活性領域注の発光層のうち狭い領域に電流が注入され、低いしきい値電流でレーザ発振が達成される。

【0091】請求項2記載の発明によれば、DBR構造の電流が通過する範囲内では歪みなく半導体が積層していることとなる。

【0092】請求項3記載の発明によれば、活性領域に近い位置に電流狭窄のための構造が配置されることとなるため、効率的な電流狭窄が達成される。また、コア半導体領域と選択酸化領域との間にある横方向屈折率差に起因して、発光層で生じた光がコア半導体領域に規定される範囲内に閉じこめられる。

【0093】請求項4記載の発明によれば、メサにより電流密度が高められ、より低いしきい値でのレーザ発振が実現する。また、メサの外周部から選択酸化領域を形成することができ、狭いコア半導体領域を簡単に設けることができる。

【0094】請求項5記載の発明によれば、メサの電気抵抗増加を抑制しながら、電流狭窄の実効をあげるこ

ができる。

【0095】請求項6記載の発明によれば、DBR構造のテーパー部分を保護膜で覆うことが容易になる。そのため、製造に際して、DBR構造のテーパー部分中の第1層は酸化することなく、それ以外の部分に含まれる第1層を選択的に酸化することが容易となる。その結果、製造コストが低減される。また、メサ形成用エッチングマスクのパターンを規定するために使用されるフォトリソマスクを用いて、保護膜のパターンも規定できる。

【0096】請求項7記載の発明によれば、電極がテーパー部分の側壁を覆うことによって、より一層ミラー抵抗が低減される。

【0097】請求項8記載の発明によれば、電極が製造工程において選択酸化工程の際の保護膜として機能し得ることとなる。

【0098】請求項9記載の発明によれば、DBR構造を構成する層の間に歪みなどが生じないようにすることが可能となり、その結晶性が向上する。

【0099】請求項10記載の発明によれば、二つのミラーの双方に電流狭窄のための選択酸化領域が配置されることとなる。そのため、発光層の狭い範囲に電流を効率的に注入することができる。

【0100】請求項11記載の発明によれば、製造コストを低減できる。

【0101】請求項12記載の発明によれば、選択酸化領域を容易に形成できる。AlAsはGaAsに比較して著しく酸化されやすいからである。また、AlAsとGaAsとの間の屈折率差が大きく、少ない層数でミラーの高い反射率を得ることができる。

【0102】請求項13記載の発明によれば、ミラー抵抗を全く増加させることなく、無効電流を低減できる。DBR構造の側面は、製造時に受ける損傷によって無効電流を発生させる非発光再結合中心等の結晶欠陥を多数含んでいるが、それらが表面パッシベーション領域に置き代わることで、無効電流の原因が減少するからである。

【0103】請求項14記載の発明によれば、容易にパッシベーション領域を形成できることとなる。選択酸化工程によれば、欠陥を含む第1層および第2層の表面を簡単にパッシベートできるからである。

【0104】請求項15記載の発明によれば、面発光レーザのアレイが得られる。アレイを構成する各DBR構造について電流狭窄のための構成が設けられているため、しきい値電流が低減され、その結果、全体の消費電力が低くなる。

【0105】請求項16記載の発明によれば、複数の第1層および複数の第2層を含む多層膜のうち一部だけを保護膜で覆うこととなるため、保護膜で覆われていない部分(下部メサ部分)中に位置する第1層のみを的確に酸化し、選択酸化領域を容易に形成することが可能となる。

【0106】請求項17記載の発明によれば、傾斜した上部メサ部分の側壁上に保護膜の堆積を行うことが簡単になる。

【0107】請求項18記載の発明によれば、保護膜を除去する必要がなくなり、製造工程が簡略化される。

【0108】請求項19記載の発明によれば、選択酸化領域の形成が簡略化され、製造コストも低減される。

【0109】請求項20記載の発明によれば、塩化鉄の作用を利用して酸化速度を向上させることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施の形態によるVCSELの構成を模式的に示す断面図

【図2】(a)～(d)は、図1に示すVCSELの製造工程を説明するための断面図である。

【図3】VCSELを酸化させるのに用いる装置を模式的に示す断面図である。

【図4】図1に示すVCSELの酸化時間と光出力-電流特性の関係を示す図である。

【図5】本発明の第2の実施の形態によるVCSELの構成を模式的に示す断面図である。

【図6】(a)は、図1に示すVCSELにおける電流狭窄および発光領域を模式的に示す図であり、(b)は、図5に示すVCSELにおける電流狭窄および発光領域を模式的に示す図である。

【図7】(a)～(d)は、図5に示すVCSELの製造工程を説明するための断面図である。

【図8】本発明の第3の実施の形態によるVCSELの構成を模式的に示す断面図である。

【図9】VCSELの第1の従来例の構成を模式的に示す断面図である。

【図10】VCSELの第2の従来例の構成を模式的に示す断面図である。

【図11】本発明の第4の実施の形態によるVCSELの構成を模式的に示す断面図である。

【図12】本発明の第5の実施の形態によるVCSELレーザアレイを模式的に示す断面図である。

【符号の説明】

100 面発光半導体レーザ(VCSEL)

110 p型GaAs基板

120 p型下部ミラー

130 活性領域

131 活性層(発光層)

140 n型上部ミラー

141 選択酸化領域

150 メサ

160 n側電極

170 p側電極

500 面発光半導体レーザ

510 酸化領域

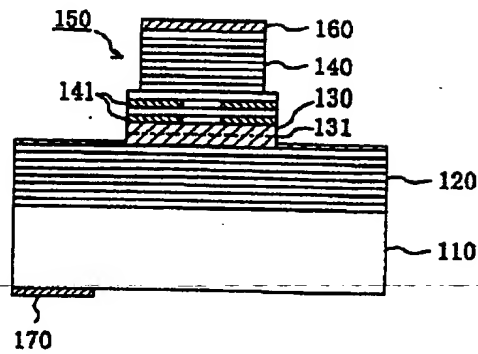
520 レーザメサ

21  
800 面発光半導体レーザ  
810 酸化領域

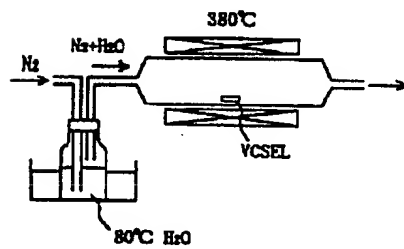
22  
820 レーザメサ

【図 1】

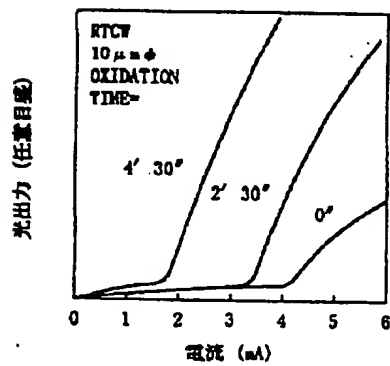
100



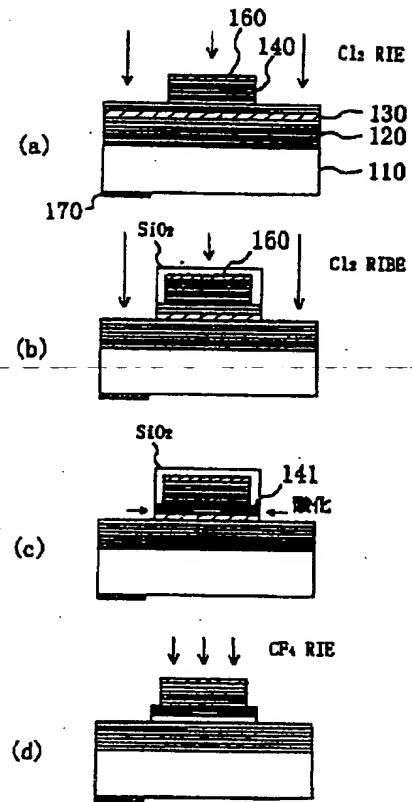
【図 3】



【図 4】

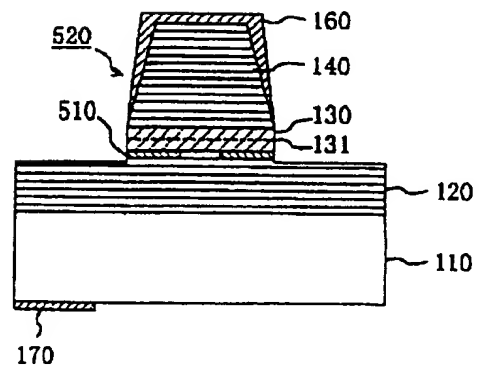


【図 2】

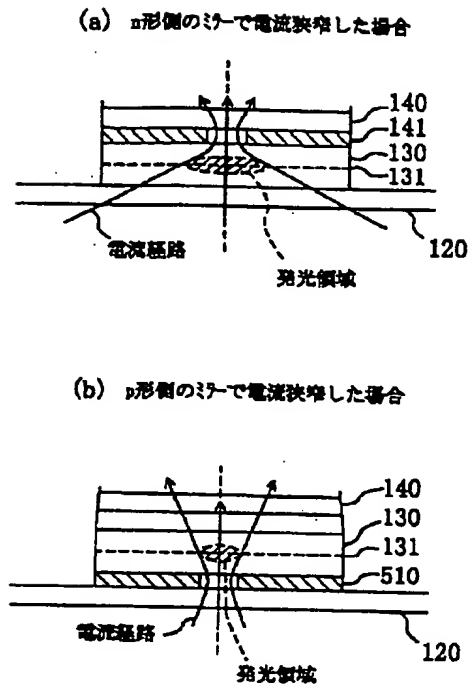


【図 5】

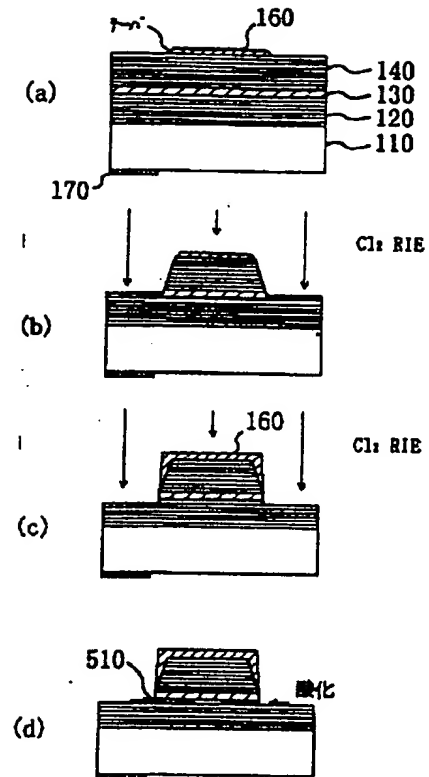
500



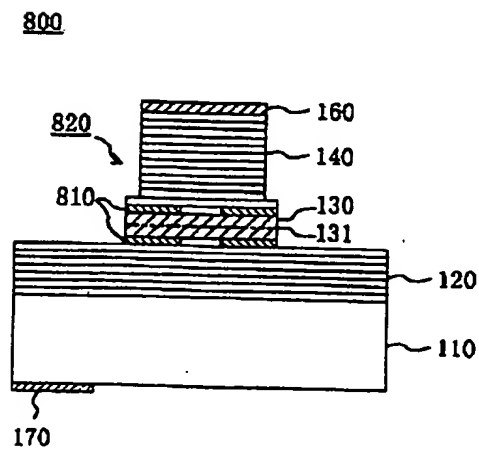
【図 6】



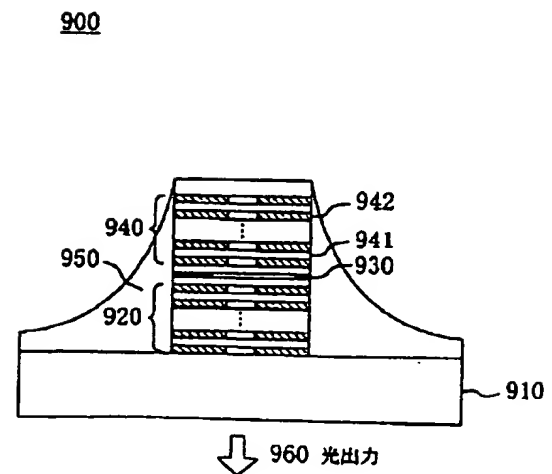
【図 7】



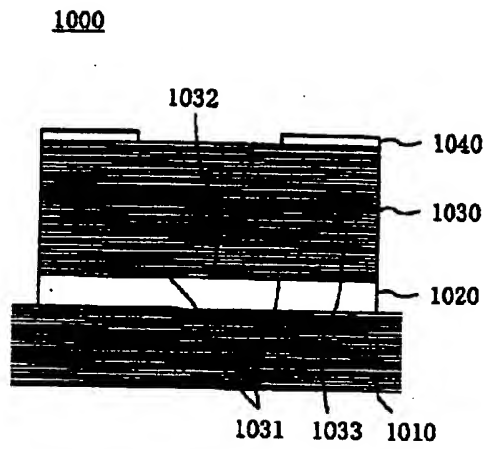
【図 8】



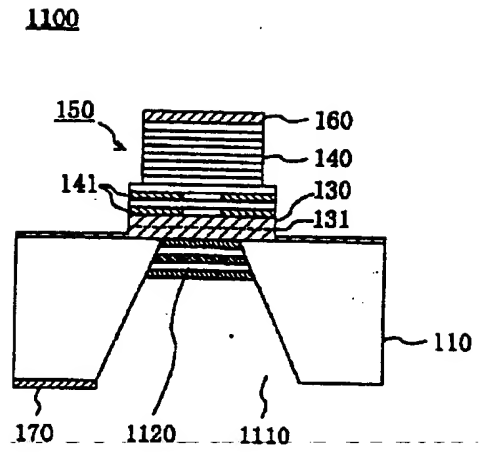
【図 9】



【圖 10】



【圖 11】



【圖 12】

